

Katarzyna ROZBICKA

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU

Charakterystyka zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego tlenkami azotu na obszarze aglomeracji warszawskiej ze szczególnym uwzględnieniem Ursynowa

Characteristics of nitrogen oxides air pollution in Warsaw urban area with special regard Ursynów

Słowa kluczowe: tlenki azotu, dwutlenek azotu, aglomeracja miejska

Key words: oxides of nitrogen, nitrogen dioxide, Warsaw agglomeration

Wprowadzenie

Tlenki azotu w sposób istotny wpływają na jakość powietrza atmosferycznego zarówno jako zanieczyszczenia pierwotne, jak i czynnik powodujący powstawanie zanieczyszczeń wtórnych, m.in. ozonu troposferycznego (O_3), azotanu nadtlenu acetylu (PAN), kwasu azotowego (HNO_3), które uważa się za bardziej szkodliwe dla zdrowia ludzi i środowiska niż zanieczyszczenia pierwotne. Emitowany jest głównie NO utleniający się do NO_2 , który podlega obowiązującym normom ze względu na toksyczność. Z przemianami chemicznymi tlenków azotu w troposferze związane są takie zjawiska, jak smog fotochemiczny i kwaśna depozycja. Na wielkość stężeń

tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym wpływa wielkość emisji oraz warunki meteorologiczne. Tlenki azotu w znacznym stopniu wpływają na jakość powietrza atmosferycznego, zwłaszcza na obszarach miejskich, co jest związane ze znaczącym udziałem emisji ze źródeł komunikacyjnych oraz systemów grzewczych, jak również obszarów peryferyjnych miast ze względu na formowanie się zjawiska smogu fotochemicznego. Obecnie ze względu na szybki rozwój motoryzacji problem zanieczyszczenia tlenkami azotu staje się coraz bardziej powszechny i jednocześnie jak dotąd nierozwiązany zarówno w Polsce, jak i w krajach wysoko rozwiniętych.

Materiał i metoda

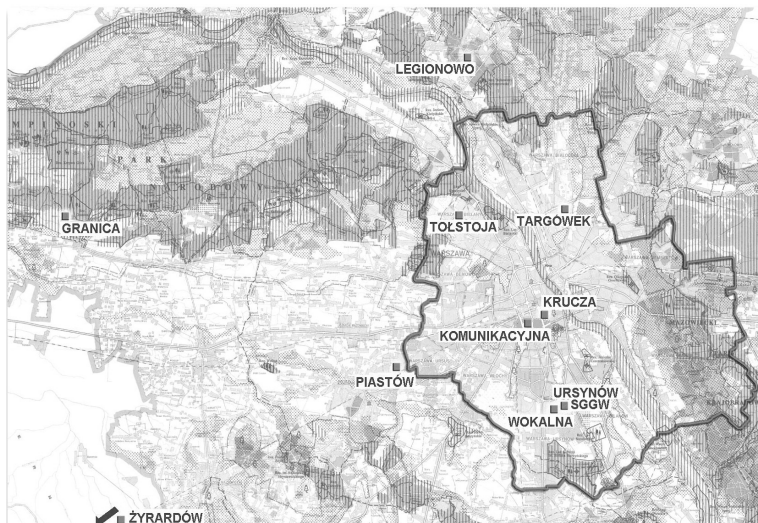
W opracowaniu wykorzystano materiał pochodzący ze stacji pomiarowych emisji tlenków azotu na obszarze aglo-

meracji warszawskiej: Ursynów SGGW, Wokalna, Krucza, Targówek, Komunikacyjna, Tolstoja, Żyrardów, Legionowo, Piastów i Granica w Kampinoskim Parku Narodowym (rys. 1) oraz dwie stacje tłowe dla Polski – Puszcza Borecka i Jarczew, oraz stację pomiarową w Belsku, położoną w województwie mazowieckim na terenie rolniczym, uważaną za stację tłową dla rejonu Warszawy (rys. 2). Powyższe stacje, znajdujące się na terenie aglomeracji warszawskiej, reprezentują znaczny obszar miasta Warszawy oraz tereny podmiejskie o zróżnicowanym charakterze emisji tlenków azotu. Stacje tłowe pozwalają na porównanie warunków zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu w aglomeracji warszawskiej z zanieczyszczeniem tłowym dla Polski.

Przeanalizowano wartości chwilowe (średnie 10-minutowe wartości poprzedzające pełną godzinę) stężenia tlen-

ków azotu (NO , NO_2 , NO_x) z okresu od 1 stycznia 2001 roku do 31 marca 2005 roku ze stacji Ursynów SGGW oraz 1-godzinne wartości stężenia NO_2 z 2004 roku ze stacji na obszarze aglomeracji warszawskiej. Ze stacji Belsk, Jarczew i Puszcza Borecka wykorzystano wartości średnie dobowe stężenia dwutlenku azotu (1 I 2001 r. – 31 III 2005 r.).

Charakterystykę zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego tlenkami azotu (NO_2 , NO) dla wybranych stacji w aglomeracji warszawskiej opracowano, obliczając: średnie dobowe, miesięczne, półroczne (półrocze ciepłe i chłodne) i roczne stężenia NO_x . Zbadano również maksymalną zarejestrowaną wartość 1-godzinną i ilość przekroczeń norm w wybranym okresie. Obliczono histogramy stężeń zanieczyszczeń NO_2 w przedziałach co $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i NO co $2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Wyjątek stanowi stacja Komunikacyjna, na której notowane są najwyższe



RYСУNEK 1. Rozmieszczenie stacji pomiarowych stężenia tlenków azotu w rejonie aglomeracji warszawskiej

FIGURE 1. Location of oxides of nitrogen concentration measurement stations in Warsaw agglomeration area



RYSUNEK 2. Rozmieszczenie stacji Ursynów SGGW i stacji porównawczych
 FIGURE 2. Location of Ursynów WULS (Warsaw University of Life Sciences) station and other reference stations

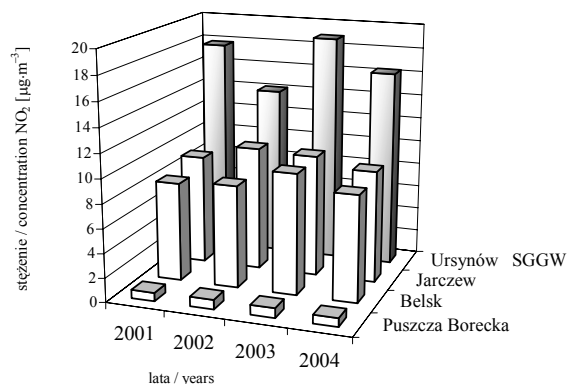
stężenia NO_x , a rozkład częstości wykonano co $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dla wszystkich tlenków azotu. Dla stacji Ursynów SGGW obliczono również średnie stężenie NO_x w poszczególnych dniach tygodnia z podziałem na dni powszednie oraz sobotę i niedzielę, a także w porach roku (wiosna, lato, jesień, zima). Średnie miesięczne i roczne charakterystyki dwutlenku azotu obliczono także dla stacji w Puszczy Boreckiej, Jarczewie i Belsku.

Wyniki

Średnie roczne wartości stężenia NO_2 w Ursynowie SGGW były 2-krotnie większe od średniorocznych wartości stężenia dwutlenku azotu w Belsku i w Jarczewie i aż 24-krotnie większe od średnich rocznych wartości stężenia NO_2 w Puszczy Boreckiej (tab. 1, rys. 3).

TABELA 1. Średnie roczne wartości stężenia NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w latach 2001–2004
 TABLE 1. Annual mean values of NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] concentration in 2001–2004

Stacja Station	2001	2002	2003	2004	Średnia Mean
Ursynów SGGW	17,8	14,1	18,9	16,3	16,8
Belsk	8,2	8,5	10,0	8,8	8,9
Jarczew	9,1	10,3	10,1	9,3	9,7
Puszcza Borecka	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8

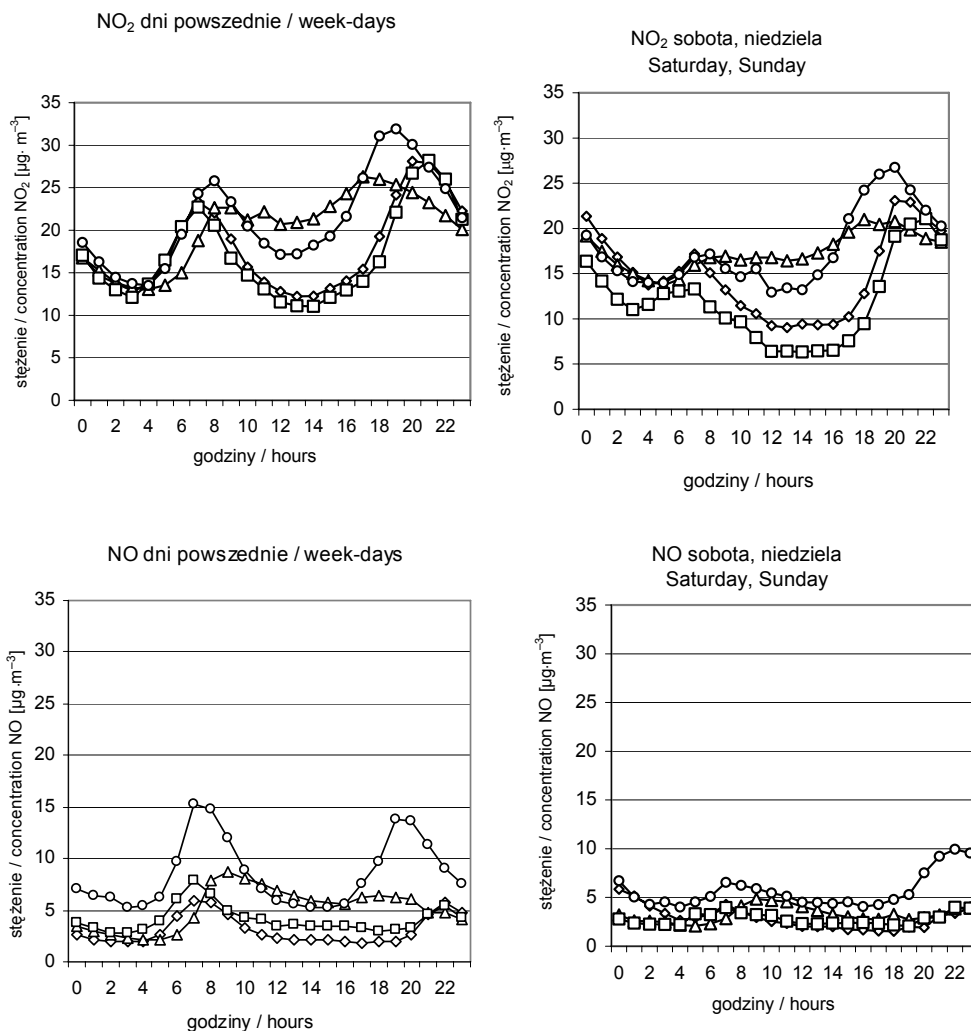


RYSUNEK 3. Średnie roczne wartości stężenia NO₂ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] w latach 2001–2004
 FIGURE 3. Annual mean values of NO₂ [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] concentration in 2001–2004

Tlenki azotu wykazują charakterystyczny przebieg wartości stężenia zarówno w cyklu rocznym związanym z poszczególnymi porami roku, jak i w cyklu tygodniowym (dni robocze, dni wolne od pracy) oraz dobowym. Porą roku, w której zarejestrowano w Ursynowie SGGW największe wartości stężenia tlenków azotu (NO₂, NO), jest jesień, a najmniejsze – lato. W cyklu tygodniowym największe wartości stężenia tlenków azotu zanotowano w piątek: dla NO₂ wyniosło 20,3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a dla NO 5,5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a najmniejsze w niedzielę: dla NO₂ 14,1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a dla NO 3,2 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. W ciągu tygodnia stężenia tlenków azotu wykazują ścisłą zależność od natężenia ruchu pojazdów – są wyższe w dni powszednie, a znacznie niższe w sobotę i niedzielę. Wartości stężenia tlenków azotu w przebiegu dobowym są również związane z natężeniem ruchu samochodowego na drogach, zwłaszcza w dni powszednie obserwuje się dwa wyraźne wzrosty – maksima stężenia NO₂ i NO w okresie szczytów komunikacyjnych porannego (7–8 h) i popołudniowego (18–21 h), podwyższone stężenia dwutlenku

azotu utrzymują się aż do godzin nocnych (rys. 4). Najwyższe stężenia NO₂ w dni powszednie występują w podobnych godzinach co najwyższe stężenia NO; świadczy to o szybkiej przemianie (konwersji) tlenku azotu do dwutlenku azotu.

Wartości stężenia tlenków azotu (NO, NO₂) w Ursynowie porównano z wartościami zmierzonymi na innych stacjach aglomeracji warszawskiej i w Granicy (tab. 2). Poniżej zostanie omówiony jedynie NO₂ z uwagi na większe znaczenie i wyznaczanie wartości kryterialnych jedynie dla tego gazu. Średnie roczne stężenie dwutlenku azotu w Ursynowie w 2004 roku wyniosło 16,3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (co stanowi 40,7% wartości dopuszczalnej 40 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i było wyższe od stężenia zarejestrowanego na czterech stacjach: Legionowo (14,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Żyrardów (13,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Belsk (8,8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) i Granica (8,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Najwyższe stężenie średnioroczne NO₂ wystąpiło na stacji Komunikacyjna – wyniosło 57,9 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, co stanowi 144,8% obowiązującej wartości dopuszczalnej. Na stacji Komunikacyjna poziom średniego rocznego stężenia przekracza po-



RYСУNEK 4. Dobowy przebieg średniego godzinowego stężenia NO₂ i NO w dni powszednie oraz w sobotę i niedzielę, Ursynów SGGW, 1 I 2001 – 31 XII 2004: —◇— wiosna, —△— zima, —□— lato, —○— jesień

FIGURE 4. Daily course of hourly mean values of NO₂ and NO concentration in week-days and week-end, Ursynów WULS, 1 I 2001 – 31 XII 2004: —◇— spring, —△— winter, —□— summer, —○— autumn

ziom dopuszczalny powiększony o margines tolerancji ($52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) dla wartości stężeń średniorocznych. Na pozostałych stacjach wartości stężeń są dotrzymane. Uwzględnione w niniejszej pracy stacje na obszarze aglomeracji warszawskiej charakteryzują się większymi średnimi wartościami stężenia dwutlenku azotu w półroczu chłodnym niż w półroczu ciepłym, z wyjątkiem stacji Komunikacyjna, na której rejestrowane wartości stężenia w półroczu ciepłym ($59,3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) są większe niż w półroczu chłodnym ($56,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Największe różnicowanie względne stężenia NO_2 w półroczach chłodnym i ciepłym zaobserwowano w Ursynowie SGGW i Granicy, które wyniosło 28%, nieco mniejsze różnicowanie było w Belsku – wyniosło 20%. Na pozostałych stacjach różnicowanie względne było znacznie mniejsze i wahało się od 0,4% (Krucza) do 6% (Żyrardów). Małe różnicowanie względne stężenia NO_2 między półroczami chłodnym i ciepłym, które występuje na stacjach: Krucza (0,4%), Komunikacyjna (2,6%), Targówek (3%), Wokalna (4,6%) i Żyrardów (6%), wynika ze stosunkowo dużych wartości stężenia NO_2 , rejestrowanych na tych stacjach, które prawdopodobnie w znacznym stopniu są spowodowane wpływem komunikacji zimą (zmniejsza się ona tylko w niewielkim stopniu), a nie sezonowym ogrzewaniem budynków. W półroczu ciepłym najbardziej zbliżone wartości stężenia dwutlenku azotu w stosunku do Ursynowa SGGW wystąpiły na stacjach w Legionowie i Żyrardowie. Natomiast na stacjach w Belsku i Granicy zanotowano najmniejsze wartości stężenia NO_2 dla obydwu półroczy, które były zarazem bardzo zbliżone do siebie.

Najczęściej występująca wartość średnia godzinna dla dwutlenku azotu w Ursynowie SGGW zawierała się w przedziale $5,1\text{--}10,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ i stanowiła 26,5% średnio w roku (tab. 3). Podobną tendencję zaobserwowano na stacjach poza obszarem administracyjnym miasta Warszawy, tj. na stacji Legionowo, Piastów, Żyrardów i Belsk. Najlepszą jakością powietrza odznacza się stacja Granica, w przypadku której 37,2% wartości stężenia NO_2 zawiera się w przedziale $0,1\text{--}5,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, a wyraźnie najgorszą charakteryzują się stacje znajdujące się w centrum miasta – Krucza i Komunikacyjna (tab. 3).

Podsumowanie i wnioski

W analizowanym okresie od 1 stycznia 2001 roku do 31 marca 2005 roku w Ursynowie zaznacza się nieznaczna tendencja rosnąca średnich dobowych wartości stężenia tlenków azotu, która jest obserwowana również na terenie innych miast w Polsce, a także w miastach krajów wysoko rozwiniętych. Spowodowane jest to wyraźnym wzrostem emisji tlenków azotu w ostatnich latach z pojazdów, które w znacznym stopniu wraz z emisją z elektrociepłowni, lokalnych kotłowni i palenisk indywidualnych decydują o jakości powietrza. Z tego powodu wartości stężenia tlenków azotu są zwykle większe w miastach niż poza nimi. Jednocześnie w ostatnich kilku latach na obszarze Polski obserwuje się trend malejący, wynikający ze spadku wielkości emisji NO_x ze źródeł sektora energetyki zawodowej (Brechler i Halenka 2003, Stan środowiska... 2004, Roczna ocena... 2005).

TABELA 2. Średnie miesięczne i roczne wartości stężenia NO₂ [μg·m⁻³] oraz ich różnicowanie względne [%] w 2004 roku
 TABLE 2. Monthly and annual mean values of nitrogen dioxide concentration NO₂ [μg·m⁻³] and their relative differentiation [%] in 2004

Stacja / Station Miesiąc / Month	Ursynów SGGW	Wokalna	Krucza	Legiono- wo	Piastów	Targówek	Tolstoja	Komuni- kacyjna	Żyrardów	Belsk	Granica
I	14,1	28,5	37,1	21,0	27,3	22,7	28,5	62,5	18,6	11,9	13,2
II	16,7	23,9	20,7	15,8	22,3	27,7	22,4	61,4	14,1	10,0	9,2
III	19,0	25,6	25,8	18,1	22,7	26,4	21,8	63,9	14,8	11,2	9,3
IV	12,1	24,9	26,8	13,8	21,9	30,1	23,1	53,9	19,6	11,6	6,5
V	12,7	21,6	24,4	11,6	13,9	24,6	16,9	65,4	10,1	6,2	4,8
VI	9,0	18,7	21,2	12,4	15,4	24,6	17,4	58,9	8,8	5,4	6,1
VII	12,2	21,8	22,3	13,3	17,0	25,7	21,4	56,9	10,4	6,8	5,6
VIII	12,4	20,6	23,9	12,1	21,0	25,0	19,1	55,9	14,2	7,3	6,7
IX	11,9	23,0	27,5	16,3	22,6	25,3	21,3	65,1	12,9	6,4	7,8
X	17,7	22,3	25,1	16,1	21,1	25,7	19,1	59,0	14,6	8,6	8,8
XI	21,5	19,6	21,0	13,3	17,9	22,4	21,8	43,8	11,5	8,9	10,5
XII	36,7	22,7	25,0	15,2	18,0	23,5	22,5	48,0	11,7	11,2	12,8
Średnia roczna Annual mean	16,3	22,8	25,1	14,9	20,1	25,7	21,3	57,9	13,4	8,8	8,4
Średnia w półroczu chłodnym (I–III, X–XII) Cold half-year mean	21,0	23,8	24,6	16,6	21,6	24,7	22,8	56,4	14,3	10,3	10,7
Średnia w półroczu ciepłym (IV–IX) Warm half-year mean	11,7	21,7	24,4	13,2	18,6	25,8	20,5	59,3	12,7	7,3	6,2
Maksymalna 1 h Maximum 1 h	223,4	122,5	109,0	85,9	124,8	123,4	113,2	172,0	99,1	56,3	61,8

Zróźnicowanie względne Z_W [%] Relative differ- tiation	28,4	4,6	0,4	11,4	7,5	-2,2	5,3	-2,5	5,9	17,0	26,6
--	------	-----	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	------

Objaśnienia / Explanations:

S_Z [%] = $\frac{S_Z}{S_L + S_Z} \cdot 100\%$; S_L [%] = $\frac{S_L}{S_L + S_Z} \cdot 100\%$; Z_W [%] = S_Z (%) - S_L [%], gdzie / where: S_Z - stężenie NO_2 w półroczu chłodnym / concentration of NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] in cold half-year, S_L - stężenie w NO_2 półroczu ciepłym / concentration of NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] in warm half-year.

Z dotychczasowych badań wynika, że bardzo duży wpływ na stopień zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu ma komunikacja i niska emisja z sektora komunalno-bytowego, która wpływa na charakterystyczny przebieg roczny, sezonowy, tygodniowy i dobowy wartości stężenia tlenków azotu. Badania prowadzone na całym świecie potwierdziły istnienie cykliczności w przebiegu stężeń, warunkowanych zarówno aktywnością mieszkańców, jak i warunkami pogodowymi (Derwent i in. 1995, Zickus i in. 1997, Drzeniecka i in. 2000).

W Ursynowie i na większości analizowanych stacjach, z wyjątkiem stacji Komunikacyjna i Targówek, wartości stężenia tlenków azotu były większe w półroczu chłodnym niż w półroczu ciepłym. W półroczu chłodnym wielkość stężenia NO_2 w Ursynowie jest porównywalna do wielkości stężenia na stacjach zlokalizowanych w różnych dzielnicach miasta (Wokalna, Krucza, Tołstoja, Targówek) oraz w jednym przypadku na jego peryferiach (Piastów), pomimo że stacje znajdują w obszarach o zróżnicowanych źródłach emisji tlenków azotu. Natomiast w półroczu ciepłym występują duże różnice pomiędzy wartościami stężenia dwutlenku azotu na powyższych stacjach, a wartości stężenia NO_2 są porównywalne do wartości stężenia na stacjach znajdującymi się na peryferiach miasta (Legionowo i Żyrardów). W półroczu chłodnym warunki rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń emitowanych na terenach zurbanizowanych są mniej korzystne niż w półroczu ciepłym. Wpływa na to zwiększona emisja zanieczyszczeń i częsta frekwencja pogody antycyklonalnej, która prowadzi do wykształcenia się w powietrzu warstwy

TABELA 3. Częstość występowania [%] wartości średnich, jednogodzinnych stężeń NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] na stacjach zlokalizowanych w rejonie badań dla 2004 roku

Stężenie NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] Concentration	Urсынów SGW	Wokalna	Targówek	Krucza	Totstoya	Legionowo	Piastów	Zyrdów	Granica	Bełsk	Stężenie NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] Concentration	Komunikacyjna
0,1–5,0	16,8	2,1	2,6	2,0	3,4	16,2	5,4	17,3	37,2	26,5	0,1–10,0	8,9
5,1–10,0	26,5	15,3	11,0	8,8	16,4	26,7	22,4	31,6	32,1	42,6	10,1–20,0	11,4
10,1–15,0	18,8	19,5	17,0	17,3	20,6	19,0	19,5	21,2	17,4	19,4	20,1–30,0	9,2
15,1–20,0	11,6	16,9	15,3	18,5	17,4	12,3	14,4	11,5	7,0	6,3	30,1–40,0	7,3
20,1–25,0	8,1	12,6	13,3	16,4	11,9	8,8	10,9	6,6	3,4	2,9	40,1–50,0	6,7
25,1–30,0	5,1	10,2	10,6	13,0	8,2	5,7	7,7	3,8	1,5	1,2	50,1–60,0	6,1
30,1–35,0	3,7	7,2	8,4	7,9	6,2	3,9	5,7	2,2	0,5	0,7	60,1–70,0	5,2
35,1–40,0	2,8	4,2	6,0	5,0	4,8	2,9	4,3	1,5	0,6	0,3	70,1–80,0	4,6
40,1–45,0	1,7	2,9	4,6	3,0	3,0	1,6	2,9	1,2	0,1	0,1	80,1–90,0	4,4
45,1–50,0	1,1	2,5	2,7	2,3	2,5	1,0	1,8	0,9	0,2	0,0	90,1–100,0	3,9
50,1–55,0	0,9	1,7	2,1	1,7	1,3	0,5	1,3	0,6	0,0	0,0	100,1–110,0	3,3
55,1–60,0	0,8	1,2	1,8	1,2	1,0	0,3	0,9	0,5	0,0	0,0	110,1–120,0	3,0
60,1–65,0	0,5	1,0	1,0	0,9	1,1	0,3	0,7	0,4	0,0	0,0	120,1–130,0	2,5
65,1–70,0	0,5	0,7	1,0	0,6	0,5	0,2	0,8	0,2	0,0	0,0	130,1–140,0	2,5
70,1–75,0	0,2	0,7	0,6	0,5	0,6	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0	140,1–150,0	2,3
75,1–80,0	0,2	0,5	0,5	0,3	0,4	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	150,1–160,0	2,1
80,1–85,0	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	160,1–170,0	1,9
85,1–90,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	170,1–180,0	1,6
90,1–95,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	180,1–190,0	1,4
95,1–100,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	190,1–200,0	1,5
100,1–105,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	200,1–210,0	1,0

TABLE 3. Frequency of hourly mean values of nitrogen dioxide concentration NO_2 [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] for the research stations situated in study area in 2004

o równowadze stałej. Ruchy konwekcyjne powietrza są słabe i głównym czynnikiem rozcieńczającym zanieczyszczenia jest transport adwekcyjny. Podczas takiego transportu masy powietrza przepływające przez obszar zabudowany wzbogacają się w coraz nowsze porcje emitowanych zanieczyszczeń i ich średnie stężenie w miejscach, gdzie nie ma silnych źródeł emisji, może być również duże. Wskaźnikiem stopnia oddziaływania komunikacji na danym obszarze może być wartość różnicowania względnego stężenia NO₂ pomiędzy półroczem chłodnym a ciepłym, wyrażona w procentach. Im mniejsza wartość różnicowania względnego, tym większy wpływ komunikacji. Świadczy to o wpływie ruchu drogowego, który w nieznanym stopniu zmienia się w ciągu roku, czego wynikiem są małe różnice wartości stężenia pomiędzy półroczami. Małą wartością wskaźnika odznaczają się stacje położone w centrum miasta (Komunikacyjna i Krucza), a także stacje Targówek i Wokalna oraz stacje zlokalizowane na peryferiach miasta (Żyrardów i Piastów). Prowadzone badania przez Pomorską i Dudę (2004) w Lublinie w punktach miasta o największym natężeniu ruchu transportowego wykazały, że wartości stężenia NO₂ są zbliżone zarówno dla półrocza ciepłego, jak i chłodnego. Inne badania prowadzone przez Kromkę (2002) – analiza przestrzennych rozkładów stężeń NO₂ w powietrzu na terenie Krakowa, wykazała istotne zróżnicowanie przestrzenne tego gazu. Największe wartości stężenia dwutlenku azotu zanotowano w kanyonach ulicznych, najmniejsze na terenie osiedli mieszkaniowych. Zaobserwowano podobną tendencję jak w Ursynowie

występowania większych wartości stężenia dwutlenku azotu w sezonie grzewczym.

W cyklu sezonowym i tygodniowym w Ursynowie najwyższe stężenia NO₂ występują jesienią w dni robocze, a najniższe latem w dni wolne od pracy (sobota i niedziela). Wartości stężenia tlenków azotu w przebiegu dobowym są również związane z natężeniem ruchu samochodowego na drogach, zwłaszcza w dni powszednie obserwuje się dwa wyraźne maksima stężenia dwutlenku i tlenku azotu w okresach szczytu komunikacyjnego – rannego i popołudniowego, a zwiększone wartości stężenia dwutlenku azotu utrzymują się aż do godzin nocnych. Potwierdzają to badania prowadzone na świecie i w Polsce (Derwent i in. 1995, Delaney i Downing 1998, Stępniewska i Szafranek 2002).

Na podstawie otrzymanych wyników można sformułować następujące wnioski:

1. Średnie dobowe wartości stężenia tlenków azotu w okresie od 1 stycznia 2001 roku do 31 grudnia 2005 roku w Ursynowie wykazują nieznaczną tendencję rosnącą (obserwowaną w ostatnich kilku latach na terenie większych miast w Polsce).
2. Średnia roczna wartość stężenia NO₂ na analizowanych stacjach, położonych na obszarach rolniczych i w Warszawie, wahała się od 8,4 µg·m⁻³ na stacji w Granicy do 57,9 µg·m⁻³ na stacji Komunikacyjna, na której został przekroczony dopuszczalny poziom stężenia powiększony o margines tolerancji (52 µg·m⁻³) dla tego okresu. Stężenia te są wyższe w porównaniu ze stacjami tłowymi dla Polski – w Jarczewie ponad

- 2-krotnie, a w Puszczy Boreckiej ponad 20-krotnie.
3. Wartości stężenia dwutlenku azotu na większości stacji są większe w półroczu chłodnym niż w półroczu ciepłym. Wyjątkiem są stacje Komunikacyjna i Targówek. W półroczu chłodnym średnie wartości stężenia dwutlenku azotu są zbliżone na stacjach położonych w różnych częściach aglomeracji (Wokalna, Krucza, Tolstoja i Targówek), natomiast w półroczu ciepłym zaznaczają się większe różnice pomiędzy wartościami stężenia na powyższych stacjach.
 4. Oddziaływanie ruchu samochodowego zaznacza się wyraźnie w przebiegu sezonowym, tygodniowym i dobowym wartości stężenia tlenków azotu. Konwersja NO do NO₂ zachodzi bardzo szybko i średnie maksima dobowe występują na ogół w tym samym czasie lub z odchyleniem jednej godziny.

Literatura

- BRECHLER J., HALENKA T. 2003: Air pollution as a part of urban climatic system. Fifth Inter. Conf. on Urban Climate 2: 125–128.
- DELANEY C., DOWDING P. 1998: The relationship between extreme nitrogen oxide (NO_x) concentrations in Dublin's atmosphere and meteorological conditions. *Environmental Monitoring and Assessment* 52: 159–172.
- DERWENT R.G., MIDDLETON D.R., FIELD R.A., GOLDSTONE M.E., LESTER J.N., PERRY R. 1995: Analysis and interpretation of air quality data from an urban roadside location in Central London over the period from July 1991 to July 1992. *Atmospheric Environment* 29: 923–946.
- DRZAZGA D. 2001: Ograniczanie niskiej emisji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w Łodzi. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 35, 4.
- DRZENIECKA A. 2000: Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie zanieczyszczeń powietrza w śródmieściu Wrocławia. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 7, 8/9: 16–24.
- HŁAWICZKA S. 1986: Przemiany tlenków azotu w powietrzu atmosferycznym. Interakcje, kinetyka procesów i ich rola w wybranych zagadnieniach ochrony środowiska. Tlenki azotu – oddziaływanie na środowisko i ograniczanie emisji. IOŚ Konferencje. Sympozja. Semina. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- JUDA J., CHRÓŚCIEL S. 1980: Ochrona powietrza atmosferycznego. Zagadnienia wybrane. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- KROMKA K. 2002: Analiza przestrzennych rozkładów stężeń NO₂ w powietrzu na terenie Krakowa. *Archiwum Ochrony Środowiska* 28, 1: 43–53.
- KUPICH I., HOFFMAN Sz. 2003: Analiza zmian stężeń zanieczyszczeń powietrza w kanionie ulicznym w cyklu tygodniowym. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 10, S1: 101–108.
- MARKIEWICZ M.T. 2004: Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- MARSZAŁEK M. 1987: Wpływ ruchu samochodowego na skażenie powietrza atmosferycznego w wybranych rejonach Polski. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 4(120): 96–99.
- POMORSKA K., DUDA A. 2004: Wpływ motoryzacji na poziom zanieczyszczeń gazowych powietrza. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 11, S4: 545–555.
- Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim – raport za rok 2004, 2005. WIOŚ, Warszawa.
- ROZBICKA K. 2004: Wstępne wyniki badań nad stężeniem tlenków azotu NO_x (NO, NO₂) w powietrzu w Warszawie – Ursynowie. *Przegl. Nauk. IKŚ* 1(28): 140–151.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych

substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji. DzU 2002 r., nr 87, poz. 796.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia niektórych substancji w powietrzu. DzU 2003 r. nr 1, poz. 12.

Stan środowiska w województwie mazowieckim w 2003 roku, 2004. WIOŚ, Warszawa.

STĘPNIEWSKA Z., SZAFRANEK A. 2002: Stężenie tlenków azotu (NO_x) w cyklu rocznym w punkcie kontrolnym na terenie Lublina. *Acta Agrophysica* 78: 249–256.

ZICKUS M., KVIETKUS K., MARSALKA A. 1997: Real time relations between local meteorological conditions and pollutant concentrations in the urban atmosphere. *Journal of Aerosol Science* 28: 1117.

ŻAK M., ŻAK M. 1997: Zanieczyszczenia powietrza tlenkami azotu wzdłuż ciągów komunikacyjnych Gliwic. *Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów* 4 (180): 113–117.

Summary

Characteristics of nitrogen oxides air pollution in Warsaw urban area with special regard Ursynów. The aim of this work

was the characteristic of spatial and temporary distribution of nitrogen oxides concentration (NO_2 , NO) from 10 monitoring air pollution stations in Warsaw agglomeration. The measurements of 1-hour NO_x (NO_2 , NO) concentration data were used. The results of analysis mean annual value of NO_2 concentration in regarding stations situated in rural areas and Warsaw is included in $8,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (for Granica station) and $57,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (for Komunikacyjna). Permissible concentration increased to tolerance level ($52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) for this period was overcome in Komunikacyjna station. In terms of Komunikacyjna station concentration values are greater than values for reference stations more than twice (for Jarczew) and more than 20 times (for Puszcza Borecka).

Author's address:

Katarzyna Rozbicka
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: katarzyna_rozbicka@sggw.pl